

Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»  
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Кафедра РТС

Отчёт по лабораторной работе № 3

**Исследование коррелятора АП СРНС ГЛОНАСС с помощью  
имитационной модели**

Студент: Серов К.М.

Группа: ЭР-15-16

Преподаватель: Корогодин И.В.

Москва

2020

## Цель работы:

1. Исследовать структуру и свойства функциональных элементов корреляторов АП СРНС;
2. Исследовать характеристики процессов, происходящих в корреляторах АП СРНС;
3. Ознакомиться с ИКД ГЛОНАСС.

## Домашняя подготовка

- Привести схемы блоков формирования дальномерного кода в отчете.

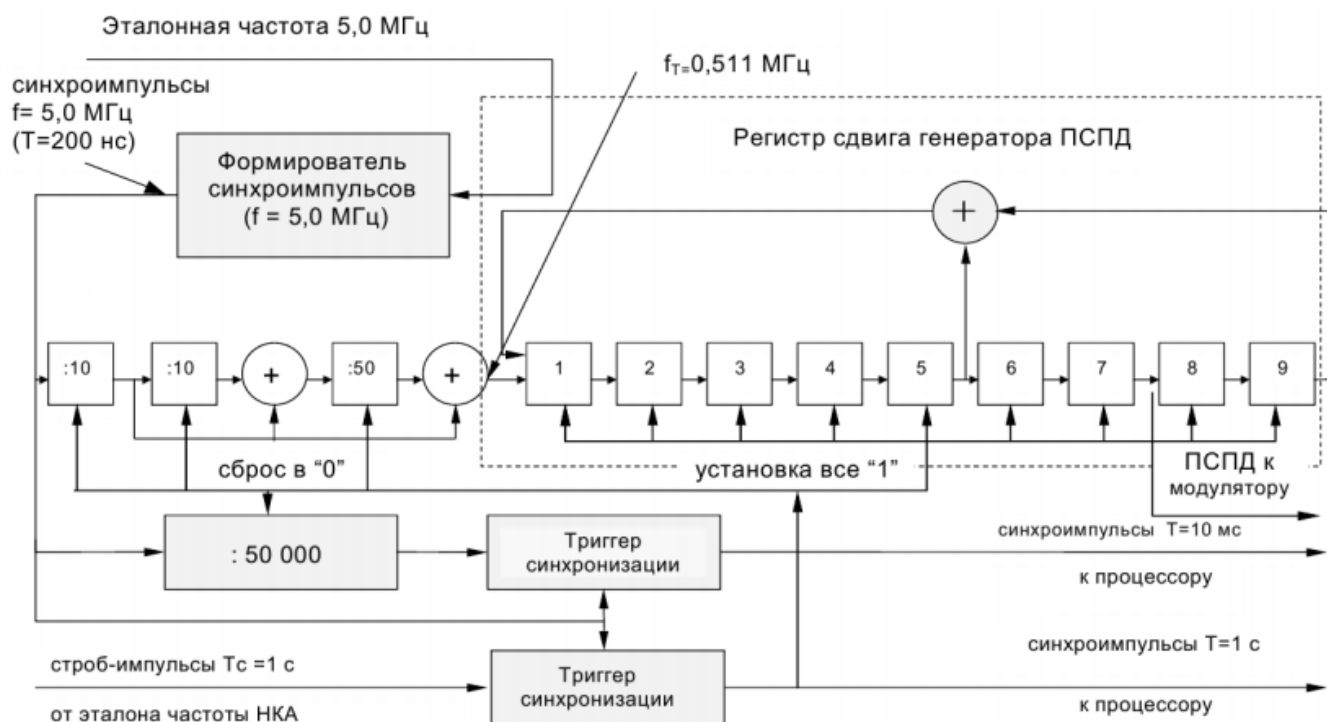


Рисунок 1 — Схемы блоков формирования дальномерного кода ГЛОНАСС СТ

Алгоритм формирования кода C/A:

$$G_i = M_a(t) \oplus M_b(t + K_i \tau_s), \quad \overline{i = 0.36}$$

$$M_a(t): PG_1(x) = 1 + x^3 + x^{10}$$

$$M_b(t): PG_2(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}$$

$i$  – номер ПСП

$K_i$  – целое число, таблицей заданное в ИКД

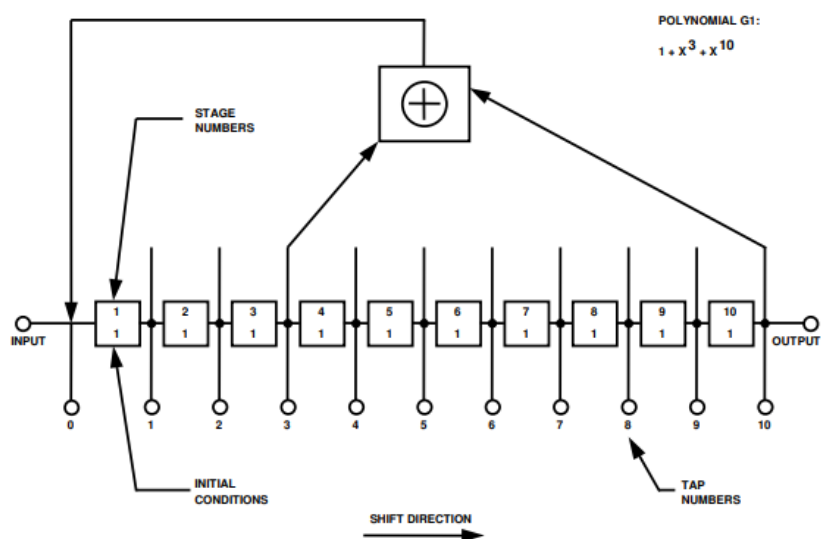


Рисунок 2 — Структура ступенчатого регистра сдвига, формирующего последовательность G1

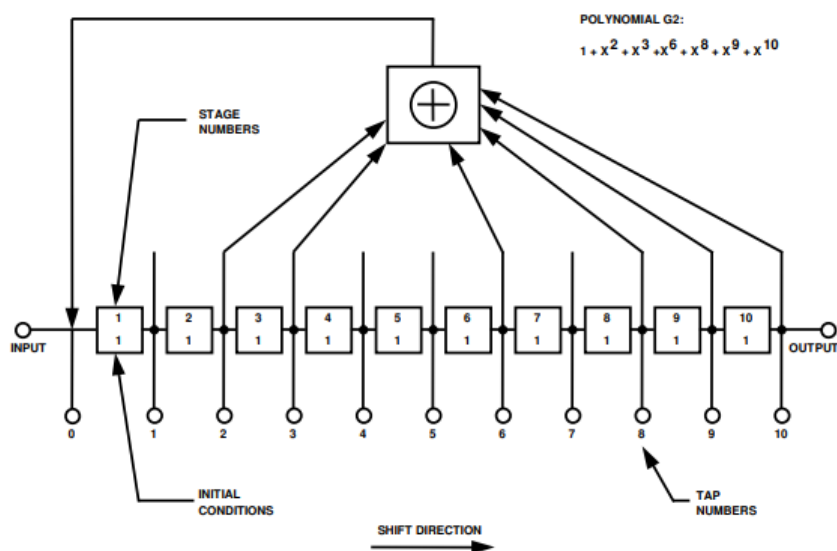


Рисунок 3 — Структура ступенчатого регистра сдвига, формирующего последовательность G2

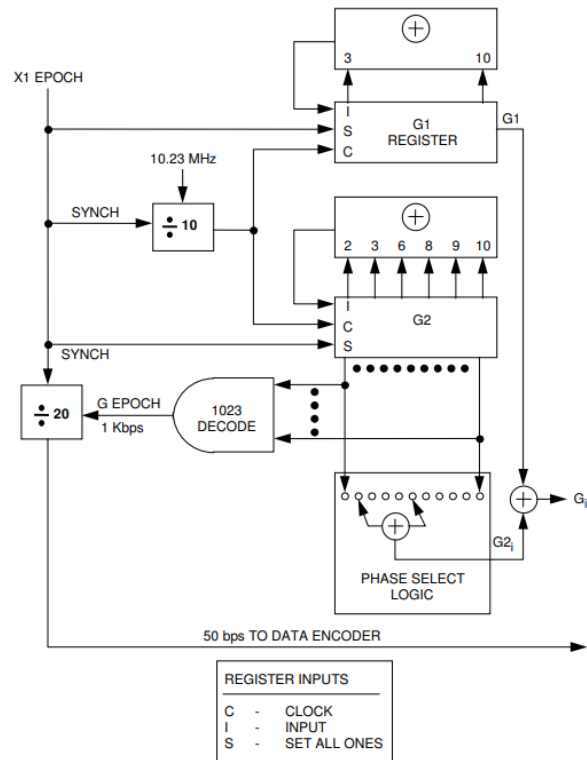


Рисунок 4 — Пример схемы блоков формирования дальномерного кода GPS C/A

- Привести выражения для статистических эквивалентов выходных отсчетов коррелятора.

Так как моделирование производится на ЭВМ, в качестве моделей непрерывных процессов в радиочастотном блоке используются дискретизированные по времени последовательности.

- Модель шкалы времени

$$t_{k,l} = t_{k,0} + l \cdot T_d; \quad t_{k+1,0} = t_{k,0} + L \cdot T_d = t_{k,0} + T,$$

где  $T_d$  - интервал дискретизации,  $T$  - интервал накопления в корреляторе.

- Модель сигнала на выходе радиочастотного блока

$$y_{fe,k,l} = K_f \cdot (S_{k,l} + J_{k,l} + n_{k,l}),$$

где  $K_f$  - операторный коэффициент передачи цифрового фильтра с заданной полосой,

$S_{k,l} = A \cdot G_c(t_{k,l} - \tau_k) \cdot \cos(\omega_{if} t_{k,l} + \omega_{d,k} l T_d + \varphi_k)$  - модель полезного сигнала,

$J_{k,l} = A_j \cdot \cos(\omega_j t_{k,l} + \varphi_{j,k})$  - модель гармонической помехи,

$n_{k,l}$  - ДБГШ с дисперсией  $\sigma_n^2$ .

- Модель сигнала на выходе АЦП

$$y_{k,l} = Qu(y_{fe,k,l}),$$

где  $Qu(\ )$  - нелинейная функция квантования.

- Модель корреляционных сумм

$$I_k = \sum_{l=1}^L y_{k,l} \cdot G_c(t_{k,l} - \tilde{\tau}_k) \cos(\omega_{if} t_{k,l} + \tilde{\omega}_{d,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k);$$

$$Q_k = \sum_{l=1}^L y_{k,l} \cdot G_c(t_{k,l} - \tilde{\tau}_k) \sin(\omega_{if} t_{k,l} + \tilde{\omega}_{d,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k).$$

Статистический эквивалент коррелятора утверждает, что квадратурные суммы – это нормальные независимые случайные величины

$$I_k = M[I_k] + n_{I,k}, \quad Q_k = M[Q_k] + n_{Q,k}, \quad n_{I,k}, n_{Q,k} \sim N(0, \sigma_{IQ}^2),$$

с одинаковой дисперсией

$$D[I_k] = D[Q_k] = \sigma_{IQ}^2 = \sigma_n^2 L / 2, \quad D[I_k Q_k] = M[n_{I,k} \cdot n_{Q,k}] = 0$$

и математическими ожиданиями, являющимися функциями рассогласования по задержке, частоте и фазе

$$M[I_k] \approx \bar{I}_k = \frac{A_k L}{2} \rho(\delta \tau_k) \sin c\left(\frac{\delta \omega_k T}{2}\right) O_k D_k \cos\left(\frac{\delta \omega_k T}{2} + \delta \varphi_k\right),$$

$$M[Q_k] \approx \bar{Q}_k = -\frac{A_k L}{2} \rho(\delta \tau_k) \sin c\left(\frac{\delta \omega_k T}{2}\right) O_k D_k \sin\left(\frac{\delta \omega_k T}{2} + \delta \varphi_k\right)$$

## Лабораторное исследование

- 1) Отключить шум приемного устройства. В качестве значения полосы фроненда выбрать «Бесконечность». Квантование принимаемой реализации и опорного сигнала отключить. Расстройку опорного сигнала по частоте установить нулевой. На основании ИКД установить параметры схемы формирования ДК. Перенести схему в отчет. Занести в отчет вычисленные корреляционные функции. Определить промежуточную частоту сигнала, полосу сигнала.

### Выполнение:

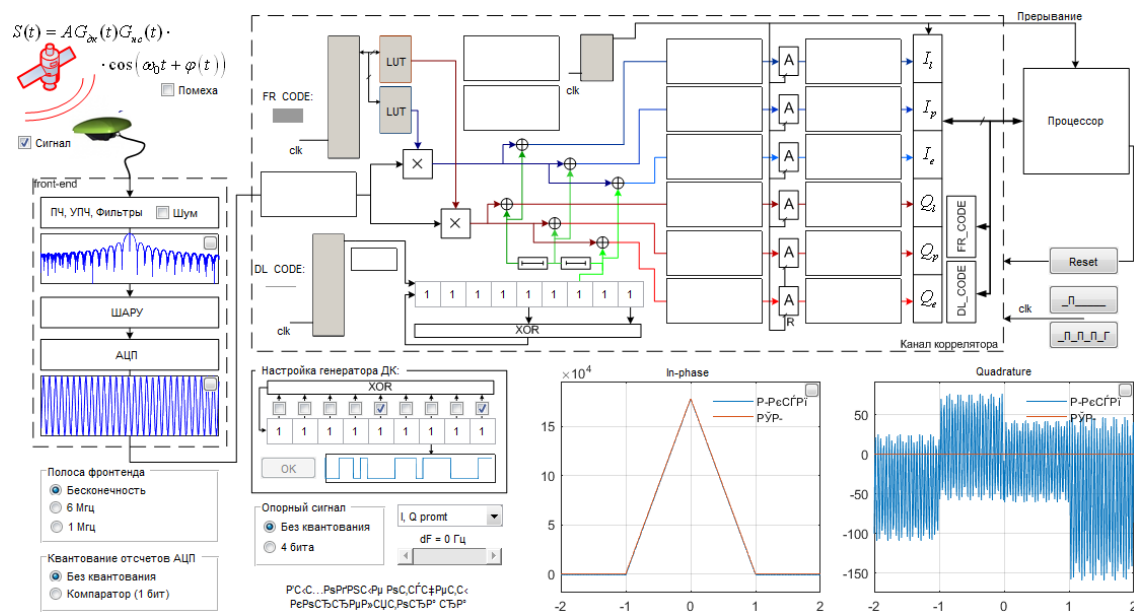


Рисунок 5 — Интерфейс имитационной модели с требуемыми настройками

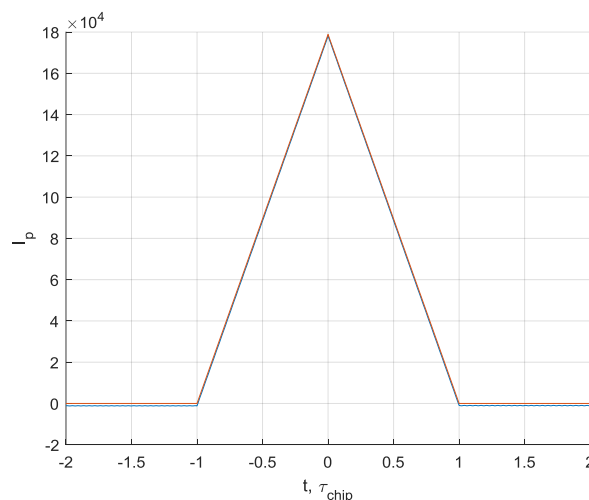


Рисунок 6 — Синфазная составляющая корреляционной функции

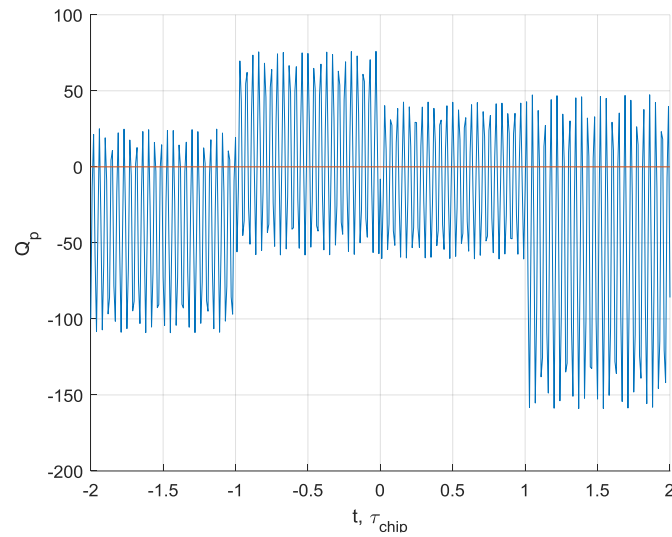


Рисунок 7 — Квадратурная составляющая корреляционной функции

По виду спектра определим промежуточную частоту сигнала, полосу сигнала.

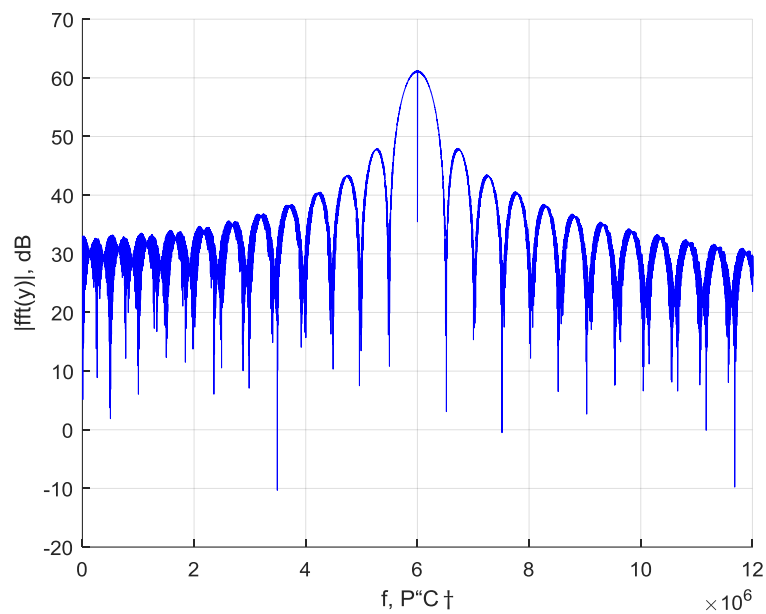


Рисунок 8 — Спектр сигнала

По рисунку 8 видно, что

- Промежуточная частота равна  $f_n = 6 \text{ МГц}$ ;
- Полоса сигнала равна  $\Delta f = (6.519 - 5.499) = 1.02 \text{ МГц}$ .

2) Установить полосу фронтона равной 6 МГц, 1 МГц. Перенести корреляционные функции в отчет. Оценить групповое время запаздывания.

**Выполнение:**

- Полоса фронтона равной 6 МГц:

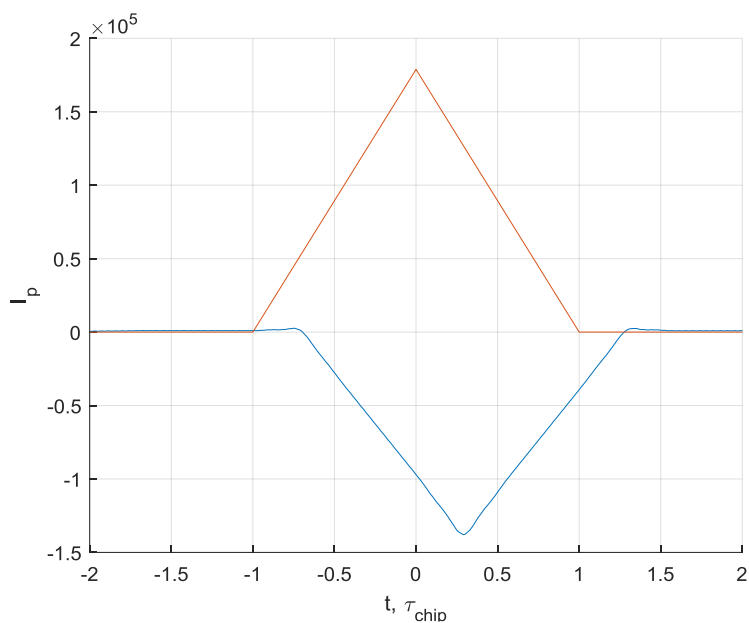


Рисунок 9 — Синфазная составляющая корреляционной функции при полосе равной 6 МГц

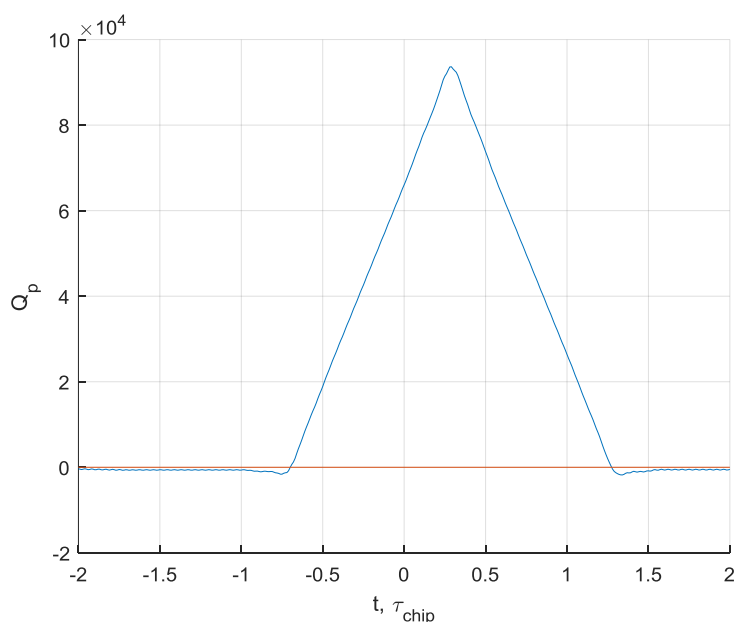


Рисунок 10 — Квадратурная составляющая корреляционной функции при полосе равной 6 МГц



- Полоса фронтенда равной 1 МГц:

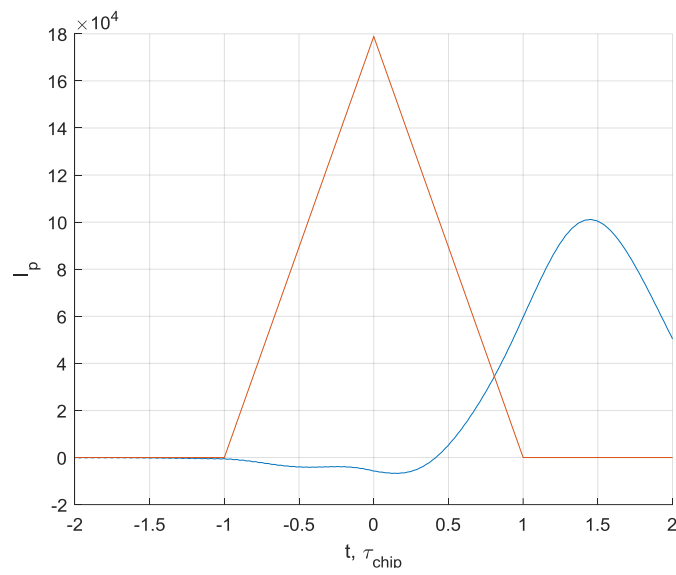


Рисунок 11 — Синфазная составляющая корреляционной функции при полосе равной 1 МГц

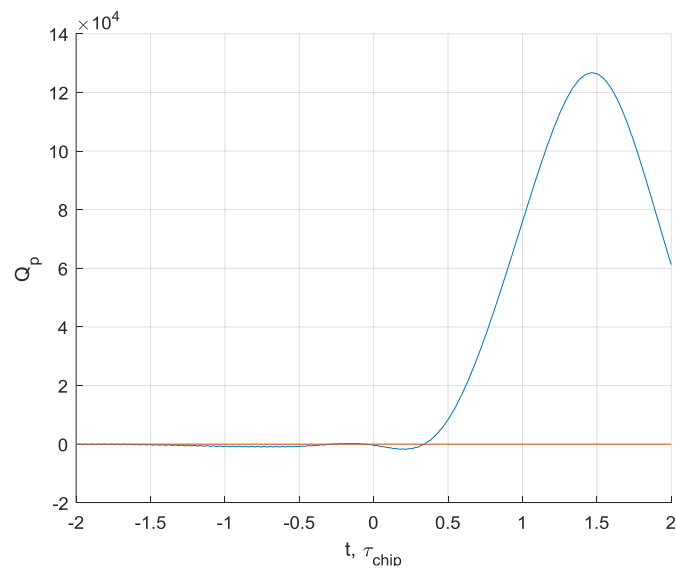


Рисунок 12 — Квадратурная составляющая корреляционной функции при полосе равной 1 МГц

- Групповое время задержки:
  - при полосе 6 МГц:  $\tau_{chio} = 0.29 \text{ мкс}$  ;
  - при полосе 1 МГц:  $\tau_{chio} = 1.44 \text{ мкс}$  .

- 3) В качестве значения полосы фроненда выбрать «6 МГц». Перенести в отчет наглядный отрезок сигнала. Включить шум. Сравнить квадрат СКО шума (считая размах за 3 СКО) и мощность сигнала. Определить отношение мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума:  $q_{c/no} = \frac{P_s}{N_0}$  (привести к размерности дБГц). Перенести в отчет отрезок реализации сигнала в смеси с шумом, корреляционные функции.

**Выполнение:**

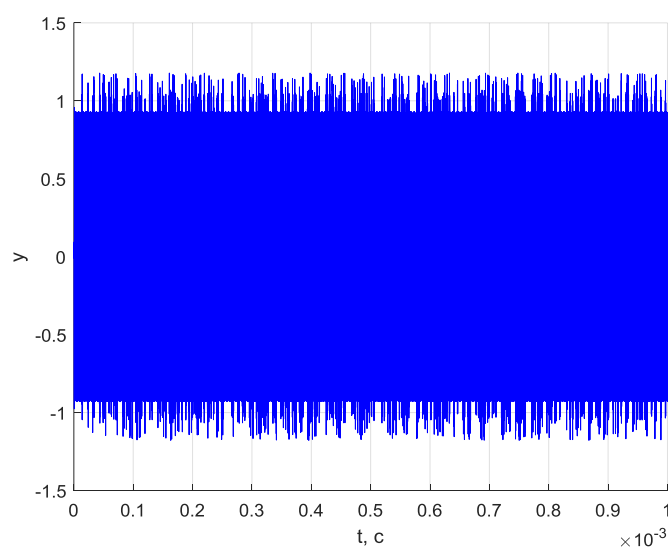


Рисунок 13 — Наглядный отрезок сигнала без шума

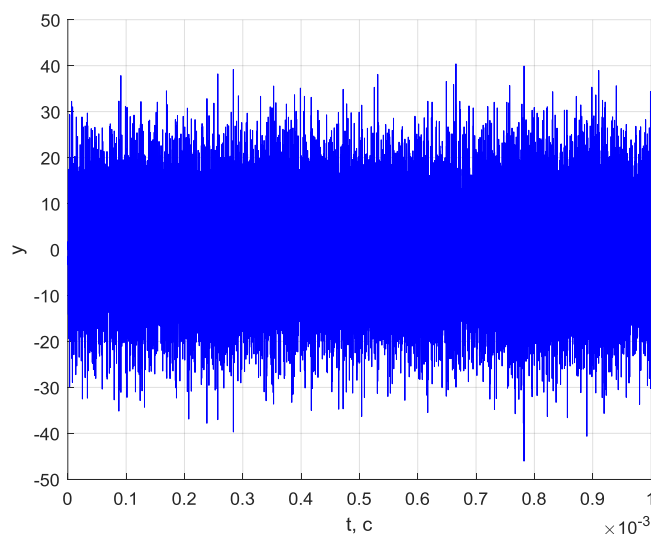


Рисунок 14 — Наглядный отрезок сигнала с шумом

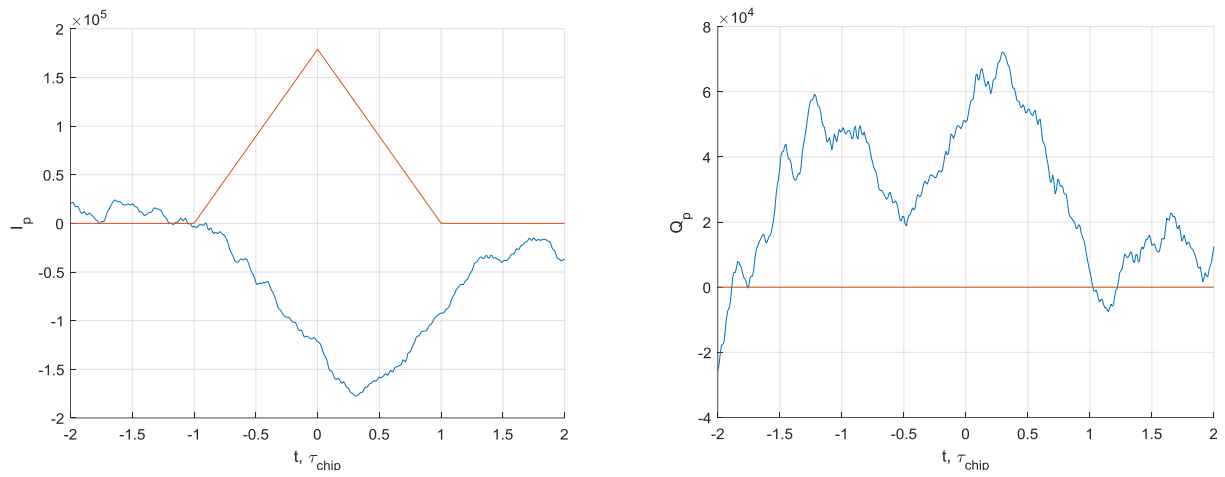


Рисунок 15 — Синфазная (слева) и квадратурная (справа) составляющие корреляционной функции при наличии шума

Рассчитаем отношение с/ш:

$$q_{c/no} = \frac{P_s}{N_0} = \frac{U_c^2}{\frac{\sigma_n^2}{\Delta f}} = \frac{1}{\frac{\left(\frac{40.39}{3}\right)^2}{6 \cdot 10^6}} = 33.1 \text{ кГц} = 45.198 \text{ дБГц}$$

- 4) Наблюдать за изменением шумовой составляющей корреляционных функций при изменении полосы фронтеда. Исследовать зависимость мощности шумовой составляющей корреляционных компонент от полосы фронтеда, сделать соответствующие записи в отчете.

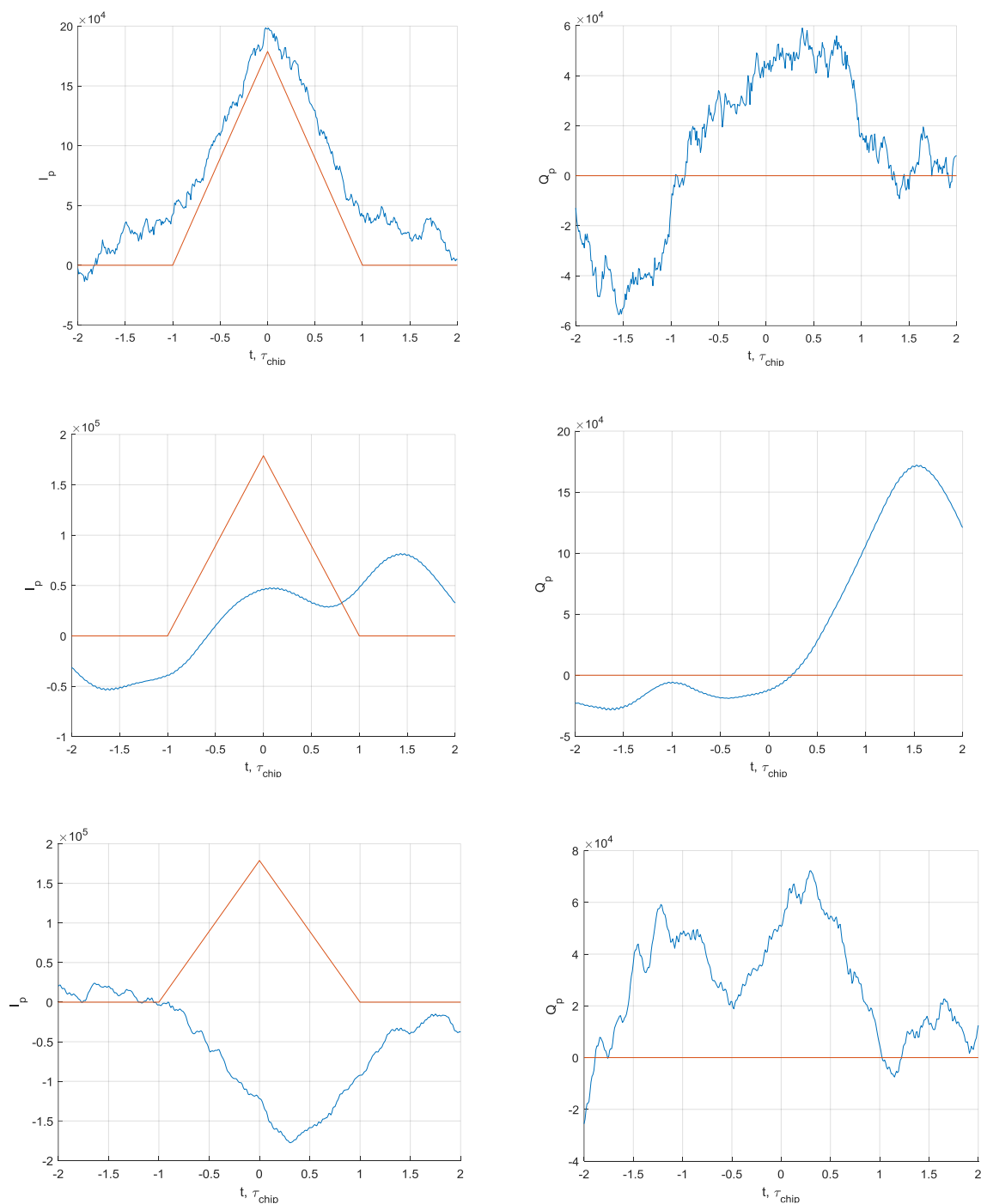


Рисунок 16 — Синфазная (слева) и квадратурная (справа) составляющие корреляционной функции при наличии шума при полосе равной бесконечности, 1 МГц и 6 МГц (сверху вниз)

5) Включить шум. Исследовать влияние квантования входных отсчетов и опорных сигналов на корреляционные суммы.

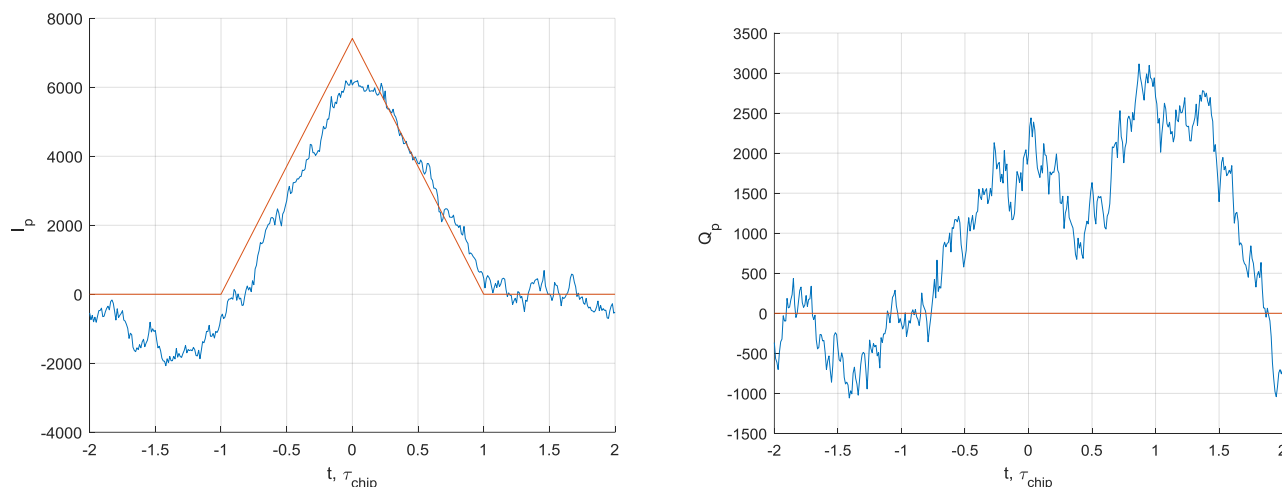


Рисунок 19 — Синфазная (слева) и квадратурная (справа) составляющие корреляционной функции при наличии шума и включённом квантовании при полосе равной бесконечности

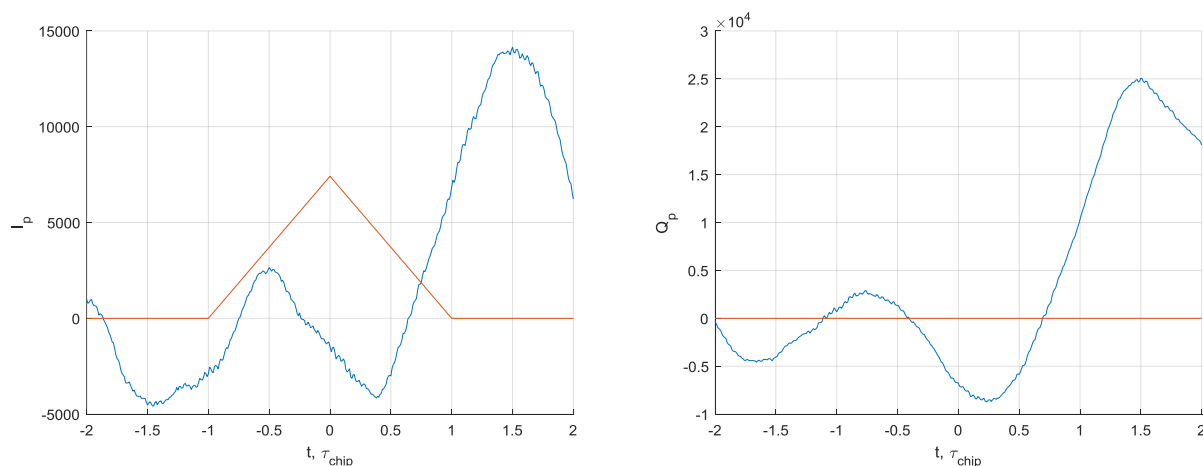


Рисунок 17 — Синфазная (слева) и квадратурная (справа) составляющие корреляционной функции при наличии шума и включённом квантовании при полосе равной 1 МГц

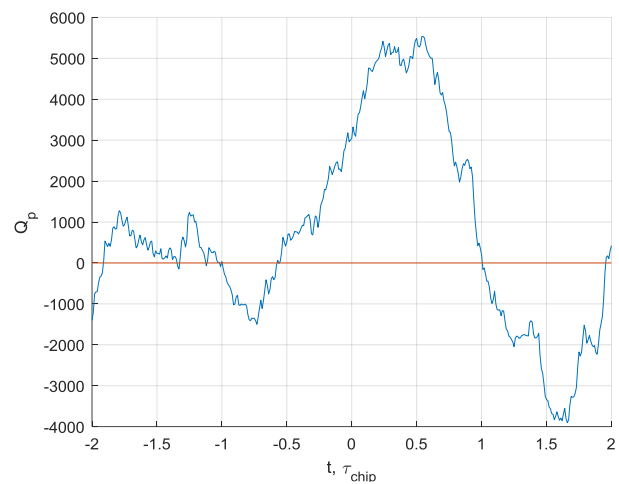
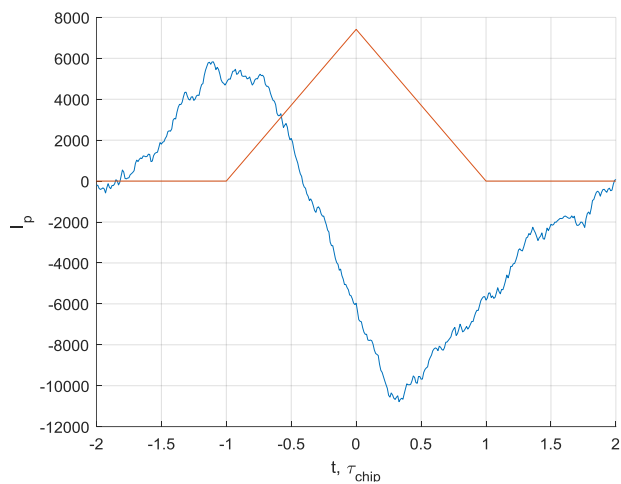


Рисунок 18 — Синфазная (слева) и квадратурная (справа) составляющие корреляционной функции при наличии шума и включённом квантовании при полосе равной 6 МГц

При квантовании входных отсчетов и опорных сигналов на корреляционные суммы уровень ошибок повышается. Основное влияние оказывает квантование отсчётов АЦП, а квантование опорных сигналов почти не влияет.

- 6) Включить узкополосную помеху, исследовать её влияние на корреляционные суммы. Определить отношение мощности помехи к мощности сигнала.

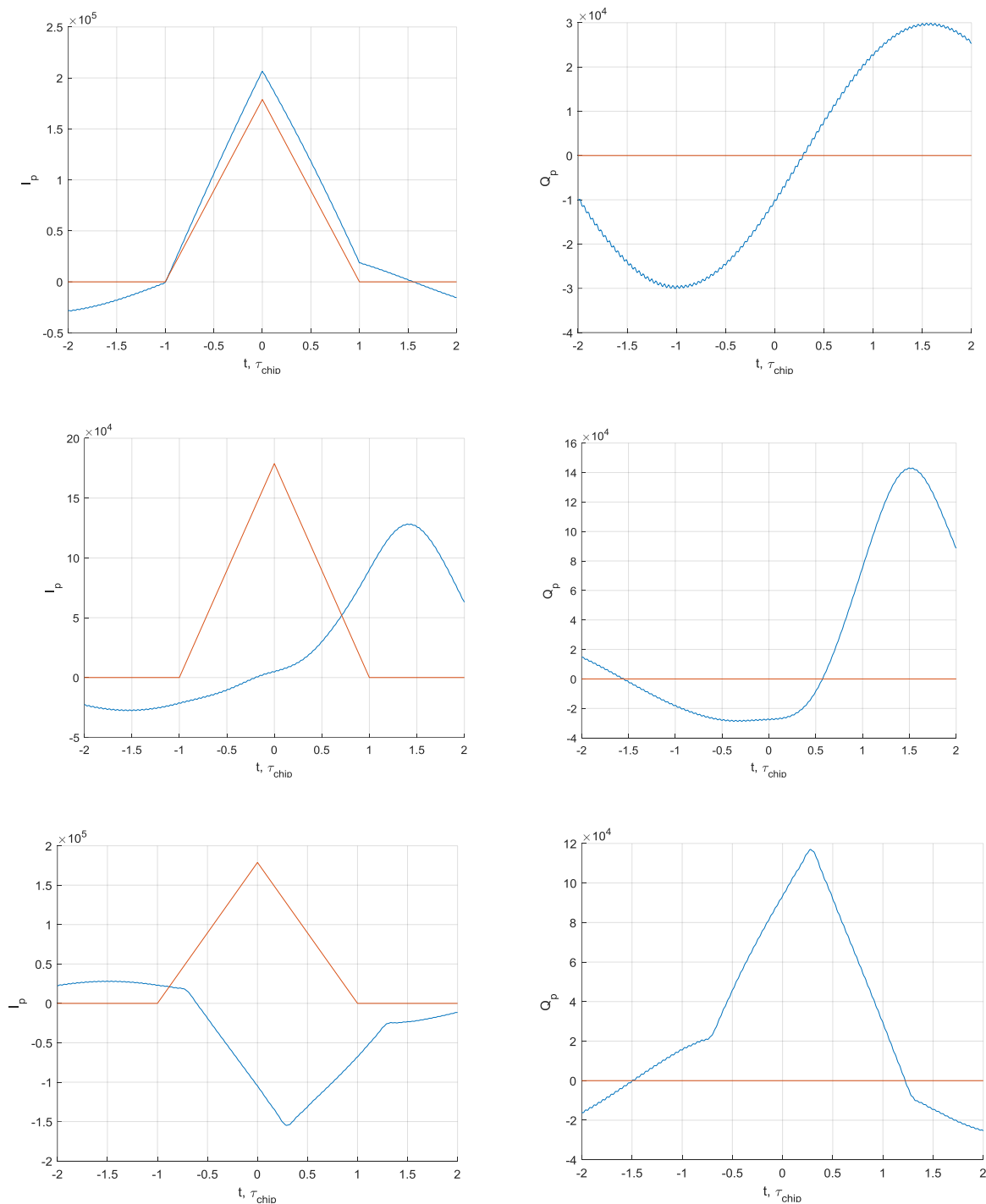


Рисунок 19 — Синфазная (слева) и квадратурная (справа) составляющие корреляционной функции при наличии шума и помех при полосе равной бесконечности, 1 МГц и 6 МГц (сверху вниз)

Уровень корреляционной функции с появлением помех возрос.

7) Установить нулевую ошибку по частоте. В отсутствии узкополосной помехи при наличии шума приемника провести исследование процессов в пошаговой модели коррелятора.

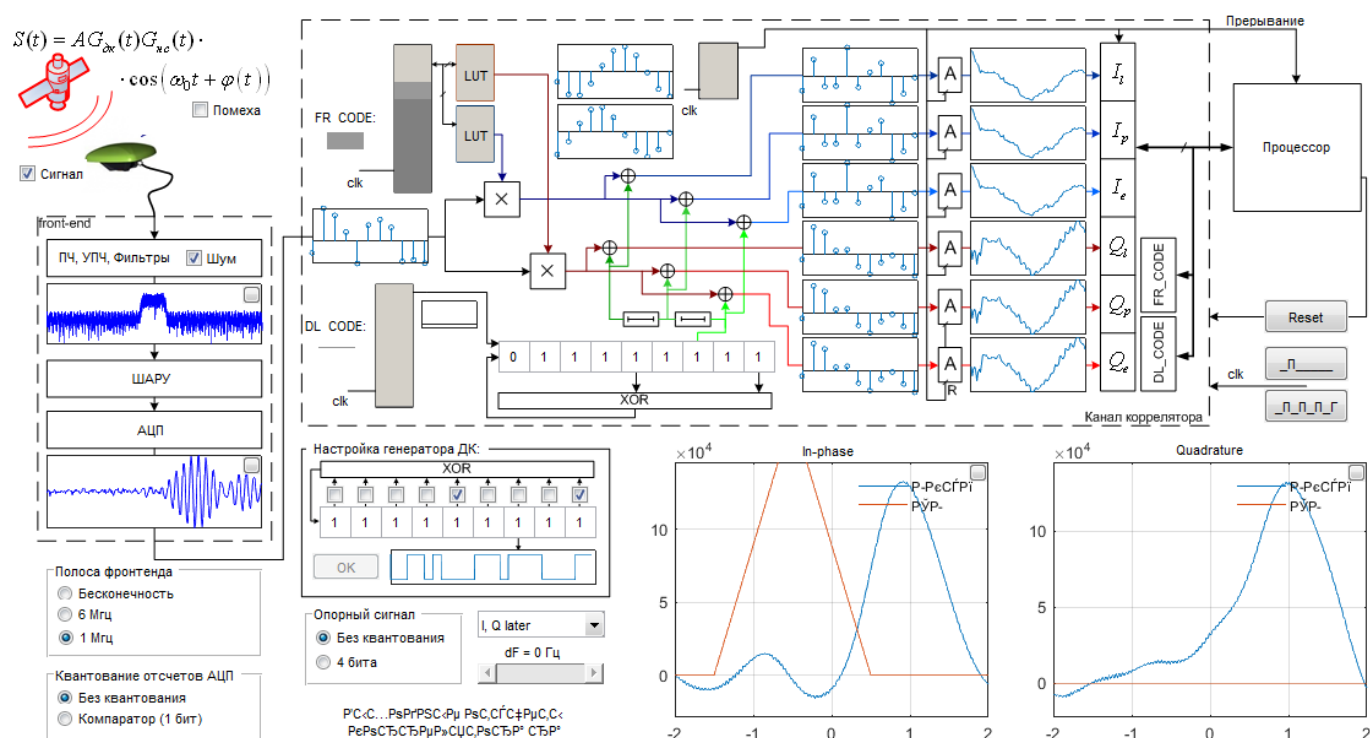


Рисунок 5 — Интерфейс имитационной при исследовании процессов в пошаговой модели коррелятора.

## Вывод:

В данной лабораторной работе были рассмотрены структурные схемы блоков формирования дальномерного кода ГЛОНАСС СТ и GPS C/A, были исследованы структура и свойства функциональных элементов коррелятора. Пронаблюдали изменение шумовой составляющей корреляционных функций при изменении полосы фронтенда, при наличии/отсутствии шумов и помех, а также при наличии квантования.